

RES0034-7



RES03407

(31 .P)

保育研究報告第34號之七

國立中山大學合作

墾丁國家公園海域珊瑚礁及海洋生物
生態研究—珊瑚體百年來放射性元素
及重金屬濃度之變化

張崑雄 陳鎮東

內政部 墾丁國家公園管理處
營建署

中華民國七十五年七月

墾丁國家公園海域珊瑚礁及海洋生物
生態研究—珊瑚體百年來放射性元素
及重金屬濃度之變化

(計畫分支七)

委 託 單 位：內政部營建署墾丁國家公園管理處

執 行 單 位：國立中山大學海洋科學學院

計畫總主持人：張崑雄

分支計畫負責人：陳鎮東 方力行

研究助理人員：黃將修 周一成

執 行 期 間：中華民國74年7月至75年6月

目 錄

摘要.....	1
英文摘要.....	2
前言.....	3
材料與方法.....	5
結果.....	9
討論.....	12
謝辭.....	14
參考文獻.....	15

摘 要

墾丁國家公園海域，數十年來北方承受高屏地區工業廢水之影響，南方刻因核三廠之運轉，工業及核電廠廢水內之重金屬及放射性元素均可能影響生物體內之生理、生化活動，間接造成生態上之破壞，本研究計劃之目的即利用造礁珊瑚每年骨骼生長密度帶所形成的年輪，去探討海洋環境長期且完整的記錄系統，從珊瑚體逐年吸收並保存重金屬及放射性元素之特性，去追蹤墾丁海域污染之歷史，由珊瑚體之活記錄，知悉生態上變動過程，從不同年份年輪內分析特定元素，可推測該年份之污染程度，甚或污染源，藉以明瞭生態上所受到的衝擊。

根據本年分析的結果，一般而言，重金屬含量自1974年以來即已偏高，其中重金屬鎘、鈷、銅、鎳、鉛、鋅之間皆有不同程度之含量差異，墾丁沿岸海域所測六種重金屬含量以鎘污染最輕微，所測樣品皆在 0.2 mg/kg 以下，年與年間的污染程度，最近十幾年來並沒有特殊趨勢發現。放射性元素除了銨90含量偏高外，其他以伽馬能譜分析的核分裂產物皆在背景值之內，對整個海洋生物不會產生不利之影響。但銨90的來源及其影響卻有進一步探討之必要。為了使研究更有系統性，使百年來的變化更完整，因此擬利用同位素追蹤法及配合珊瑚年輪之應用，以推測到百年前之海洋情況，去明瞭長久以來，整個墾丁海域變動之過程，以彌補百年來資料之欠缺。

Abstract

A study was performed in the coastal reefs around Taiwan to ascertain the annual variation of heavy metals, Co, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn; and to investigate the content of radio-isotopes in the coral skeleton. Roughly hemispherical coral heads *Favia* spp., *Porites* spp. and *Coeloseris* sp. were chosen for this study. Concentrations of heavy metals and radio-isotopes determined on subsamples dated by density band growth increments provided a record of seawater pollution, which probably resulted from the discharged waters of coastal industry, nuclear power plants, or radioactive fallout. Standard atomic absorption techniques and other analytical methods were used to realize the historic records of water quality. The result shows that there is no considerable variability, except for Zn, exists in skeletal heavy metal contents during the past ten years. Sr-90 was the only synthetic radio-isotope detected from the coral samples.

前 言

人類在生物界的研究過程中，逐漸瞭解到污染物對生物生存的潛在威脅是不容忽視的，此污染源不論是來自核爆、核能設施或工業上的重金屬排放等所形成，其對生物之生存都有立即性或累積性的毒害之存在，而台灣在最近幾年之污染情形，更是有增無減，吃西施舌、烏鯧魚中毒事件都曾造成人員的傷亡，而前幾個月的二仁溪附近海域淺海牡蠣養殖，由於銅污染造成大量牡蠣死亡的綠牡蠣事件中，我們一直在尋找如何才能夠找到最可靠且長期性的對環境污染之監測記錄系統，以符合台灣特有生態環境之需要。直到最近十幾年來密集性的研究某些種類的珊瑚之年輪且有更充分的證據顯示珊瑚年輪之年代意義（*Kuntson et. al.* 1972；*Buddemeier et. al.* 1974；*Hudson et. al.* 1976；*Highsmith* 1979；*Highsmith et. al.* 1983；*Patzold* 1984）；自此以後，珊瑚體年輪內之成份將可能成為對環境污染歷史追蹤之極佳記錄（*Dodge and Gilbert* 1984；*Dodge et. al.* 1984）；同時亦可對污染物濃度變化產生預警作用，此一觀念的突破對生態界的研究也邁進了一大步。此觀念是極重要但卻很少被用來做研究，而本研究計劃就針對此一問題做深入之研究。

目前台灣的污染問題已逐漸受到重視，但不論是空氣、水樣、土壤或沉積物之分析所代表的年代、時間意義卻是很模糊，唯有以有年代意義的珊瑚去分析年輪內的成分，才可能是對歷史性的污染過程，提出完整且有系統性的記錄之最佳途徑。而一般工業廢水中濃度較高或濃度雖低，然其生物毒性較高之重金屬，包括 *Cu*，*Ni*，*Co*，*Cd*，*Pb*，及 *Zn* 等，是目前威脅性比較大的重金屬污染物，也是我們追蹤的元素。

珊瑚之生長對環境非常敏感，其生長率主要是受溫度、日光、食物、及周遭海水等的影響。因此環境中的因子，可直接反映在珊瑚的鈣質骨骼成分中。而墾丁國家公園海域，珊瑚已成為海中重要之生物資源，自從核三廠於67年建廠，同時於73年3月進行商業運轉開始，核三廠的安全性及其排放之冷却水是否含有放射性物，對墾丁海域之影響又如何？值得從事研究，由於許多重要的核分裂產物如 *Mn-54*，*Co-60*，*Zn-65*，*Sr-90*，*Sb-125*，*Cs-137* 等，可能會在核子武器試爆的落塵中和核子反應器產生的廢料排放過程中發生，因此這些放射性物在生物體中的累積量就變的很重要。就以 *Cs-137* 而言，海洋生物一般可濃縮 3 ~ 30 倍其生存之海水中的濃度，相對於海水的情況，淡水生

物種的濃縮效應可高達 100 ~ 1000 倍。但在河口區，因鹽度和鉀含量有一個大範圍的變動，所以鎊的生物累積效應，就算是單一種生物內，變異也可能是很大 (Wolfe 1971)。

由於核三廠於 73 年 3 月進行商業運轉，核三廠對於墾丁國家公園海域長期性的放射性物威脅，持續性的存在。因此有必要做更長久的追蹤及更深入的瞭解。此一威脅不僅是對珊瑚體而言，而且是對整個沿岸海洋生物，以及食物鏈中的消費者，生存在台灣的人民之健康及安全而言。有鑑於此，我們希望能從珊瑚體之深入研究中，提供可靠且立即性的預警系統，以免除生物累積效應造成了而不自知。所謂的「防微杜漸」，尤其在蘇俄車諾比爾核能電廠事件中，其輻射塵漫延橫跨歐亞等數洲之遠，如何做好歷史性的監測工作及防止污染源之發生，以減少污染物對人類之威脅，以珊瑚體年輪層去追蹤，就更具有時代之意義了。

材料與方法

(A)採樣方式及地點：

租用漁船，以水肺潛水 (*Scuba diving*) 方式，於核三廠出水口處，水深 10 ~ 16 公尺左右及萬里桐海域水深 6 ~ 10 公尺左右，採集有年輪之珊瑚 *Porites* 屬及 *Favia* 屬的二類團塊狀之珊瑚分析，另有少數珊瑚採自蘭嶼、小琉球、北核等地，採集地分佈圖如圖一。

(B)前處理：

- (一)採用之珊瑚標本，先後以 5 % 次氯酸鈣及 30 % H_2O_2 浸泡，充分除去珊瑚表層活體部份留下骨骼洗淨。
- (二)使用鑲有工業鑽石之切割刀 (*Diamond rock-saw*)，切成厚 0.5 cm ~ 1 cm 之薄片，並以自來水充分洗淨、烘乾。
- (三)使用 X 光照相術 (*X-ray radiography*) 鑑定年輪。
- (四)再以(一)法洗淨。
- (五)依照 *X-ray radiograph* 攝得之相片，切割年輪內之珊瑚，並將其浸在蒸餾水中以超音波振盪器，每一次十分鐘，共三次清洗雜質。

(C)過程：

- (一)鑑定年輪：使用 X 光機 (*SOFTEX E-40 TYPE*) 攝影；X 光源至底片距離為 40 cm，依照珊瑚薄片之不同，調整 X 光機，使條件介於 30 ~ 40KVp，4 ~ 5 mA，以及 15 ~ 25 min 曝光時間，*x-ray radiograph* 拍攝完成後，並以 X 光片特用之顯影劑、定影劑、沖洗成底片，以做為年輪鑑定上之依據。
- (二)高倍放大攝影珊瑚顯微構造及半定量分析主成分：使用掃描式電子顯微鏡 (*JEOL JSM-35CF SEM*) 依不同倍率拍照，SEM 攝得之二次電子像 (*SEI*)，利用 SEM 附設 *EDAX* (*Energy Dispersive Analysis of X-ray*) 半定量分析化學主成分。
- (三)珊瑚骨骼之結晶構造分析：以 *CSi* 研磨器研磨成極細粉末，(粉末壓成 325 Mesh)，粉末量為 $2.5 \times 1.4 \times 0.1 \text{ cm}^3$ ，試片裝在長 5 cm，寬 2.5 cm，

高 0.5 cm 的 *holder* 上，使用 X 光繞射儀 (*Diano 8536 XRD*)，以銅靶鎳濾波器繞射珊瑚粉末，分析其結晶構造。

(四) 分析重金屬：以原子吸收光譜法分析，使用原子吸收光譜儀 (*HITACHI Z-8000 Atomic Absorption Spectrophotometer*) 測定。

(a) (1) 利用瑪瑙研鉢，研磨年輪層內分離下之珊瑚成粉末，在 105 °C 下烘乾。

(2) 取 2.5 g ~ 5 g 之粉末，置於鐵氟龍 (*Teflon*) 燒杯中。

(3) 以超純 (*ultrapure*) 之 HNO_3 加 HCl (5CC : 15 CC) 之王水，利用全溶法，在加熱板 (*hot plate*) 中加溫，使其全部溶解。

(4) 加去離子蒸餾水 (*deionized distill water*) 於燒杯中，再加熱，使王水隨水氣蒸發，溶液變成純淨透明液體，以去離子蒸餾水定量配成 50 毫升。

(5) 用超純王水溶解超純碳酸鈣 (*ultrapure $CaCO_3$*) 處理法同(4) 成爲 *matrix* 溶液，配製各種重金屬標準溶液，使其 *matrix* 與待測定之樣品近似並以王水爲 *Blank*， $CaCO_3$ 加王水爲 *Background* 值，校正之。

(6) 計算：

① $HNO_3 + HCl$: *Blank* 。

② $Sample + HNO_3 + HCl$: 待測值。

③ $CaCO_3 + HNO_3 + HCl$: *Background* 。

④ $Standard + CaCO_3 + HNO_3 + HCl$: 已知值。

② - ① 爲樣品值，④ - ③ 爲 *Standard* 值，以 *Standard* 做迴歸，求 *Sample* 之重金屬含量。

(b) 重金屬輔以中子活化法 (*Neutron activation*) 分析。

(五) 放射性元素分析：

(1) 伽馬核種分析：利用鎊 (鋰) 偵檢器及多頻道分析儀，計測樣品中所含放射性核種所發射出之伽馬射線可同時進行定性及定量分析，能量在 100 Kev 至 2.8 Mev 之伽馬核種均可藉此法定量，而不須任何複雜之化學分析步驟，但此法對純貝他核種 (如銨 90) 無法適用。其他放射性核種如 $Mn-54$ ， $Co-60$ ， $Zn-65$ ， $Sb-125$ ， $I-131$ ， $Cs-137$ ，以及自然界的 $K-40$ ， $Bi-214$ ， $Tl-208$ 等核種皆可依此法分析，每個樣品皆以 8 萬秒之時間計測。

(2) 銨 90 的分析：

將珊瑚磨成粉末，以 6 N 鹽酸萃取，然後將鋇、鈣、鋇元素以草酸鹽沉澱形成析出而後以發煙硝酸去除鈣，以鉻酸鋇沉澱去除鋇，並加鈾載體，靜置二星期使滋生鈾 90 計測草酸鈾及碳酸鋇沉澱，活性強度以計算鋇 90。

計算：

$$\text{鋇 90 (pCi / kg)} = \frac{N}{2.22 \times E \times Y_1 \times Y_2 \times V \times I \times D}$$

N ：草酸鈾淨計數率 CPm

E ：鈾 90 計測效率

$$Y_1: \text{鋇化學回收率} = \frac{\text{碳酸鋇 (毫克)} \times 0.5911}{\text{鋇載體重 (毫克)}}$$

$$Y_2: \text{鈾化學回收率} = \frac{\text{草酸鈾 (毫克)} \times 0.4027}{\text{鈾載體重 (毫克)}}$$

V ：珊瑚粉末重 (kg)

$$I: \text{鈾 90 生成因數} = 1 - e^{-0.01083 (t_2 - t_1)}$$

$$D: \text{鈾 90 衰變因數} = e^{-0.01083 (t_0 - t_2)}$$

其中 t_0 為計測中點時間，處理過程中以 2N 鹽酸溶解沉澱時間為 t_1 。溶液加少量氨水，使沉澱完全時間為 t_2 。

(3) 銻 137 的分析：

將珊瑚粉末，以 6 N 鹽酸萃取，再以磷鉬酸銻 (AMP) 吸附萃取，加鹼液溶解 AMP 沉澱後加入鉑氯酸於冰浴中生成鉑氯酸銻沉澱、過濾、烘乾、計測貝他活性。

計算：

$$\text{銻化學回收率 (Y)} = \frac{W_1 \times 0.3947}{W}$$

$$\text{銻活性 (pCi / kg)} = \frac{N_B - N_A}{2.22 \times E \times Y \times V}$$

$$\text{計算誤差 } \sigma = \frac{\sqrt{N_s / t_s + N_B / t_B}}{2.22 \times E \times Y \times V}$$

$$\text{最低計測敏度 (} \mu\text{Ci / kg)} = \frac{4.65 \times \sqrt{N_B / t_B}}{2.22 \times E \times Y \times V}$$

N_s : 試樣計數率 *cpm*

N_B : 背景計數率 *cpm*

t_s : 試樣計測時間 (分)

t_B : 背景計測時間 (分)

E : 計測效率

Y : 化學回收率

V : 珊瑚體粉末重 (*kg*)

W : 鉍載體重 (毫克)

W' : 沉澱重 (毫克)

結 果

本研究計劃爲了對污染的歷史做追蹤，因此珊瑚體皆須從事 *X-ray radiography*，每個樣品在 X 光機內攝得清晰的年輪（照片一、照片二），再依據年輪的排列次序，分析其不同年代的放射性物及重金屬含量，爲了對珊瑚體的整體結構，主成分，微細構造，放射性物以及重金屬含量做全面性的瞭解及追蹤，共完成了以下的研究工作：

(1) 珊瑚體顯微構造：

利用 SEM 攝得 *Porites lobata* 放大倍率 10 倍（照片三），100 倍（照片四），1000 倍（照片五），10000 倍（照片六）之微細構造，此 *Porites lobata* 表層的許多小洞皆爲珊瑚體生存的棲所，照片四的每個洞皆有一個水螅體（*polyp*）生長於其內，而珊瑚長久固著在海底，其骨骼內含物，正可長久的留下了該海域的歷史性記錄，照片六中放大 1 萬倍的表層有許多不光滑的構造，其內所鑲嵌的成份，正可反映出珊瑚在生態環境上的記錄，經由化學分板後充分顯示了環境上所造成的生物累積效應（*Biological accumulation*），曾經留存了多少重金屬及放射性物於其內，及其年代間的累積量變化之關係。

(2) 珊瑚體 EDAX (*Energy Dispersive Analysis of X-ray*)

珊瑚體主成分半定量分析結果，*Porites lobata* 表一及表二主成分佔分析元素百分組成差異不大，其中 Ca 所佔的百分比皆在分析元素之 70% 以上，*Favia palida*（表三），除了多出 Si 元素外，其他元素與 *Porites lobata* 差異不大，由於 Ca 元素在珊瑚體以大量 CaCO_3 之結晶出現，因此分析重金屬含量皆要考慮 CaCO_3 在原子吸光法（*Atomic Absorption Spectrum*）中的 *matrix* 效應。

(3) 珊瑚體結晶構造：

在放大 1000 倍的照片五中，有許多結晶構造，爲了瞭解其結晶成分，因此利用 *X-ray diffractometer* 加以分析，其掃描角度爲 $2\theta: 10 \sim 80^\circ$ ，每分鐘掃描 1 度，再把分析圖依據 *ICPDs file* (*international centers for di-*

fraction data) 鑑定，屬於碳酸鈣 (*Calcium Carbonate*) 結晶中的 *Aragonite* 。

(4) 重金屬分析：

根據原子吸收光譜法分析珊瑚重金屬含量，其濃度分佈圖如圖二～圖六，以整體而言，各種重金屬含量在 *A. A.* 偵測敏度以上之總平均，鈷為 0.73 mg/kg ，銅為 0.68 mg/kg ，鎳為 1.00 mg/kg ，鉛為 1.88 mg/kg ，鋅為 7.53 mg/kg ，但鎘皆為 0.2 mg/kg 以下。

在所偵測的 50 個樣品中，88 % 的珊瑚樣品鈷含量低於 0.6 mg/kg ，30 % 的珊瑚樣品銅含量低於 0.4 mg/kg ，64 % 的珊瑚樣品鎳含量低於 0.4 mg/kg ，84 % 的珊瑚樣品鉛含量低於 1.2 mg/kg ，只有 12 % 的珊瑚樣品鋅含量低於 0.2 mg/kg ；蘭嶼的珊瑚體重金屬含量如表四。

(5) 珊瑚試樣放射性物分析：

取珊瑚試樣整體充分研磨，其平均生長之年齡及放射性分析結果如表五。總貝他活性以萬里桐 *Porites lobata* 的 $4.03 \pm 2.19 \text{ pCi/gwet}$ 為最高，但最低亦出現在萬里桐的 *Favia palida* 之 $0.73 \pm 1.92 \text{ pCi/gwet}$ 。銻 137 最高值為蘭嶼的 *Coelosseris sp.* 之 $2.45 \pm 3.04 \text{ pCi/kg}$ ，此值為最近 3 年的珊瑚體平均值。最低值仍為萬里桐的 *Favia palida* 之 $0.87 \pm 2.78 \text{ pCi/kg}$ 。由於銻 137 含量很低，無法利用伽馬能譜分析出；其含量皆在 *LLD (Lower limit of detection)* 以下。校正後的 *LLD*，銻 137 為 3.55 pCi/100g ，所以試樣皆以化學分析法處理。

銻 90 為純貝他輻射，因此不能以伽馬能譜分析，經化學處理後貝他計測銻 90 的結果 (表五)，萬里桐的 *Porites lobata* 最高，可達 $49.57 \pm 11.5 \text{ pCi/kg}$ 。此值遠大於一般生物體，食品或土壤等含量。伽馬能譜分析的結果顯示，從核爆或核電廠產生的核分裂產物 (*fission product*) 如銻 137 (*LLD* 2.89 pCi/100g)，碘 131 (*LLD* 2.89 pCi/100g)，銻 125 (*LLD* 8.21 pCi/100g)，銻 65 (*LLD* 9.16 pCi/100g)，鈷 60 (*LLD* 3.9 pCi/100g)，錳 54 (*LLD* 3.2 pCi/100g) 等皆無法偵測到其劑量。而自然界存在的放射性核種如 *K-40*，*Bi-214* 等可偵測到，只是其量極小，皆在背景值之內。在年輪內的放射性物含量偵測的結果 (表六)，核分裂產物伽馬能譜分析的

結果皆在背景值以下。而自然界存在的放射性核種如鉀 40，鈾 214 可局部性的測到，但無一定的規律性，且量很低皆在背景值之內。在特殊核種方面，銻 137 含量很低，珊瑚體生物濃縮效應不明顯。鐳 90 含量雖高但似乎無一定規律可循，須要分析更多的樣品才能找到其來源。海中沉積物放射性含量測定結果（表七），亦可測得自然界核種如鉀 40，鈾 214，鈾 208 等。至於核分裂產物，伽馬能譜分析的結果皆在 *LLD* 值以下。

討 論

墾丁海域珊瑚遍佈，其中至少有二屬以上的（優勢屬）珊瑚具有年輪。我們利用 *Favia spp.* 以及 *Porites spp.* 從事研究工作之進行，發現 *Porites lobata*（照片一、二）在年輪之鑑定上要比 *Favia sp.* 容易，且清晰。對未來繼續從事這方面研究，*Porites lobata* 將是更好的材料，此與 *Patzold*（1984）所使用在年輪研究工作上之 *Porites lobata* 同種。

在化學上而言，珊瑚的骨骼分泌主要是 CaCO_3 的沈澱，而其他海水中的主要離子，如鈉、鎂、氯等也成比例的形成在 CaCO_3 的珊瑚骨骼中（表一、二、三）。元素在化學性質上類似鈣的也將被嵌鑲進入珊瑚骨骼中（*Moore et al.* 1973）。在 *EDAX* 偵測中鋁乃與鈣同族，即有高比例的量存在珊瑚骨骼中。此一現象在本研究中有很明顯的證據存在。其他微量重金屬含量可能與海水水質，珊瑚之食物鏈系統有關。

在做珊瑚骨骼礦物結晶分析中，利用 *x-ray diffraction* 所分析結果屬於 *mineral aragonite* 此結果與 *Livingston and Thompson*（1971）一致。由於珊瑚之 CaCO_3 含量比率極高，因此在分析珊瑚體重金屬含量時，其 *matrix* 在原子吸光法中（*atomic absorption*）皆加以充分之考慮，以求其準確性。

由於造礁珊瑚在他形成 CaCO_3 （*aragonite*）骨骼的過程中，已被建議對於海水化學具有潛在的有用之指標（*Broecker* 1963；*Veeh & Turekian* 1968；*St John* 1974；*Flor & Moore* 1977；*Dodge et al.* 1984）。自從 *Dodge et al.*（1984）利用造礁珊瑚的骨骼當做化學上磷污染的指標開始，其利用珊瑚體長達25年的年輪之時間記錄，去解釋環境的訊息。曾經保存在珊瑚體年輪內者，成為記錄性指標，顯示了珊瑚的年輪層骨骼將是很有前途的發展，去追蹤大自然、野外、長時間的環境化學以及可能的污染過程之偵測。而墾丁沿岸海域根據我們對重金屬含量偵測的結果顯示自1974年以來，該海域重金屬累積在珊瑚體內者，鋅含量在偵測敏度以上者可達到總平均值 7.53 mg/kg ，其餘鈷、銅、鎳、鉛、鎘總平均值皆在 2 mg/kg 以下，其中鎘之全部樣品皆低於 0.2 mg/kg 。顯示6種重金屬中，鎘污染最輕微，鋅污染最嚴重。而百年前之珊瑚體累積重金屬及放射性物之情況，則有必要利用同位素追蹤法配合年輪之應用，從早年已死之珊瑚或學術單位收集之珊瑚，去分析年輪層內的重金屬及放射性物含量，以補足近百年來所欠缺的資料，使資料變的完整而有系統性，不但

有歷史性記錄的意義，而且可提供預警系統。爲了使本研究計劃更詳盡，因此建議利用萃取法，把珊瑚體內之重金屬萃取出來，以石墨爐法測重金屬，則可以提高靈敏度及準確度。

由於核三廠運轉期間甚短暫且又屬於新機種，同時運轉期間又發生火警，目前已停機長達一年之久，所以並未偵測到核分裂放射性產物，其值皆在 *LID* 值以下。至於銻90量雖高於一般生物體，但由於銻、鈣同族，其受珊瑚特別吸附的情況下，銻90的來源有進一步研究之必要。除了銻90外，其他核分裂產物的伽馬能譜分析的結果皆在背景值之內，這些結果對於未來以珊瑚體評估核電廠長期運轉之影響時，將成爲極珍貴的參考資料。

謝 辭

本研究計劃之完成，重金屬部分得力於洪佳章博士、白書禎博士、哇台生博士之提供寶貴意見及協助，放射性物分析則由台灣輻射偵測站林友明主任、陳清江先生等同仁之協助完成，重金屬中子活化法則由清大王天戈主任、曾家亮先生之幫忙下完成，*S.E.M.*、*E.D.A.X.* 及 *x-ray diffraction* 則由中山大學材料所協助完成，年輪層之鑑定則借用莫顯蕃所長之 *X-* 光機拍攝鑑定，珊瑚種名之鑑定，則由黃瑞傑協助完成，在此一併致謝。

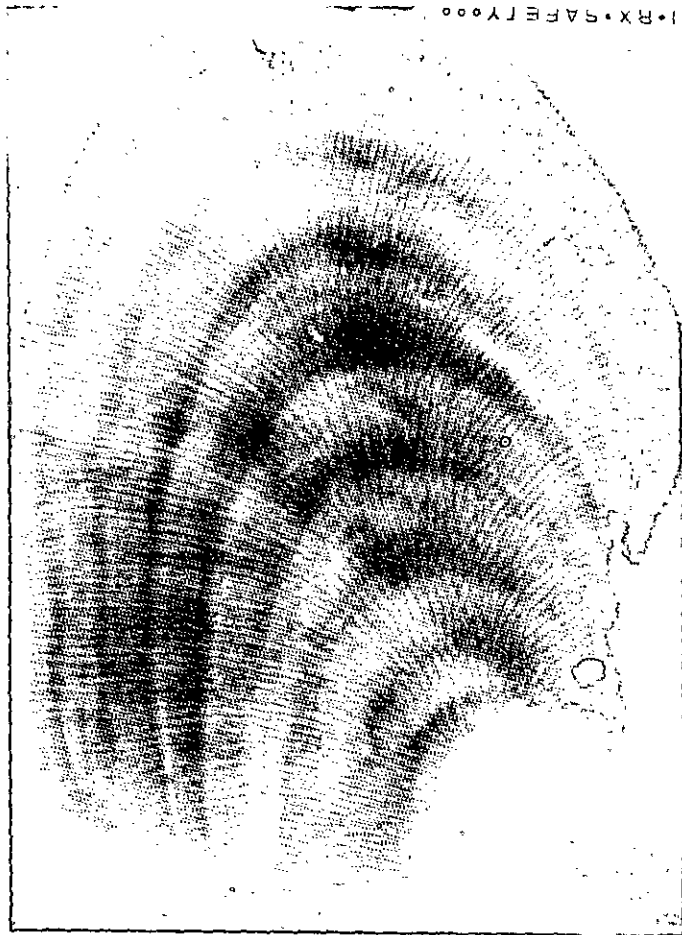
最後感謝內政部營建署墾丁國家公園管理處提供經費支助本計劃。

參考文獻

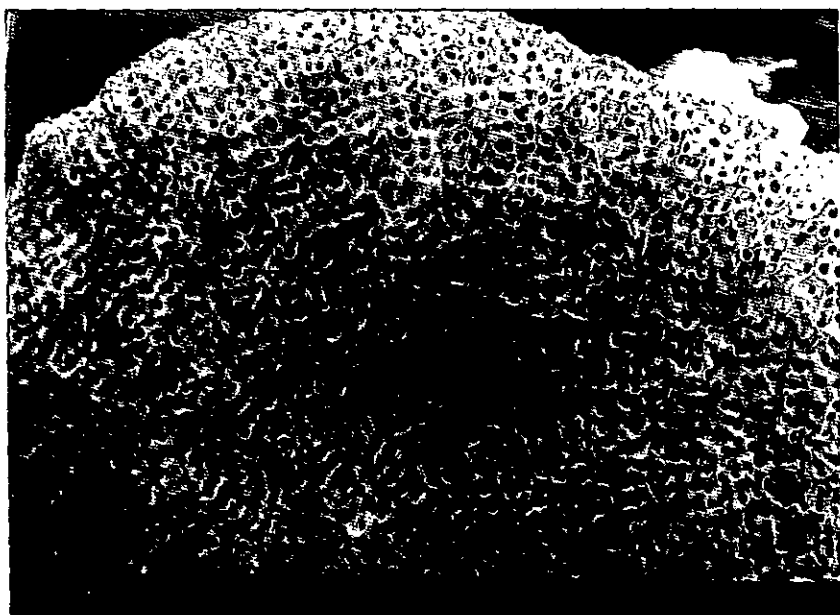
- Buddemeier, R.W., J.E. Maragos & D. Knutson, (1974). Radiographic studies of reef coral exoskeletons: rates and patterns of coral growth. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 14: 179–200.
- Broecker, W.S. (1963). A preliminary evaluation of uranium series inequilibrium as a tool for absolute age measurements on marine carbonate. *J. geophys. Res.*, 68: 2817–2834.
- Dodge R.E. & T.R. Gilbert, (1984). chronology of lead pollution contained in banded coral skeletons. *Mar. Biol.*, 82: 9–13.
- Dodge R.E., T.D. Jickells, A.H. Knap, S. Boyd & R.P. Bak, (1984). Reefbuilding coral skeletons as chemical pollution (phosphorus) indicators. *Marine pollution Bulletin*, 15(5): 178–187.
- Flor, T.H. & Moore. W.S. (1977). Radium/calcium and uranium/calcium determinations for western Atlantic reef corals. *Proc. 3rd Int. Coral Reef Symp.*, Vol. 2, pp. 555–561.
- Highsmith, R.C., (1979). Coral growth rates and environmental control of density banding. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 37: 105–125.
- Highsmith, R.C., R.L. Lueptow & S.C. Schonberg, (1983). Growth and bioerosion of three massive corals on Belize barrier reef. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 13: 261–271.
- Hudson, J.H., E.A. Shinn, R.B. Halley & B. Lidz, (1976). Sclerochronology: A tool for interpreting past environments. *Geology*, 4: 361–364.
- Knutson, D.W. R.W. Buddemeier & S.V. Smith, (1972). Coral chronometers: Seasonal growth bands in reef corals. *Science, N.Y.*, 177: 270–272.
- Moore W.S., S. Krishnaswami & S.G. Bhat, (1973). Radiometric determinations of coral growth rates. *Bulletin of marine Sciences*, 23(2): 157–176.
- Patzold, J. (1984). Growth rhythms recorded in stable isotopes and density bands in the reef coral *Porites lobata*. *Coral Reefs*, 3: 87–90.
- St John, B.E. (1974). Heavy metals in the skeletal carbonate of scleractinian corals. *Proc. 2nd. Int. Coral Reef Symp.*, Vol. 2, pp. 461–469. Great Barrier Reef Committee, Brisbane.
- Veeh, H.H. & Turekian. K.K. (1968). Cobalt, silver and uranium concentration of reef-building corals in the Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 13: 304–308.
- Wolfe D.A., (1971). Fallout cesium-137 in clams (*Rangia Cuneata*) from the Neuse river estuary, North Carolina. *Limnol. Oceanogr.*, 16(5): 797–805.



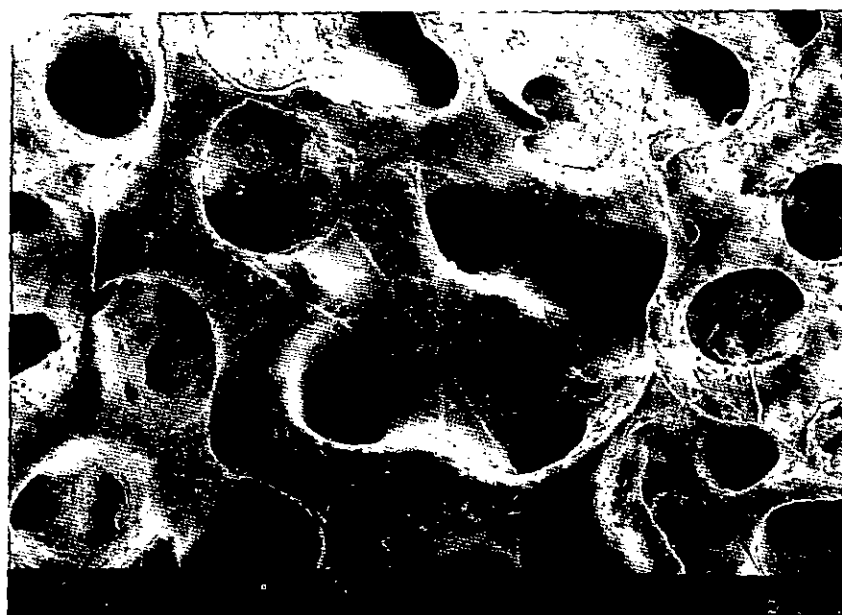
照片一 *Porites lobata* 年輪圖



照片二 *Porites lobata* 年輪圖



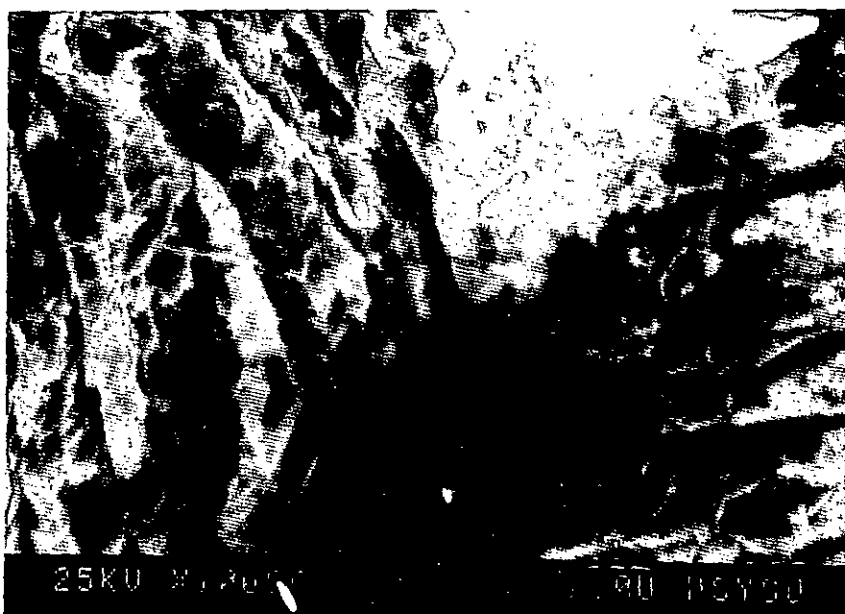
照片三 *Porites lobata* (25 KV \times 10)



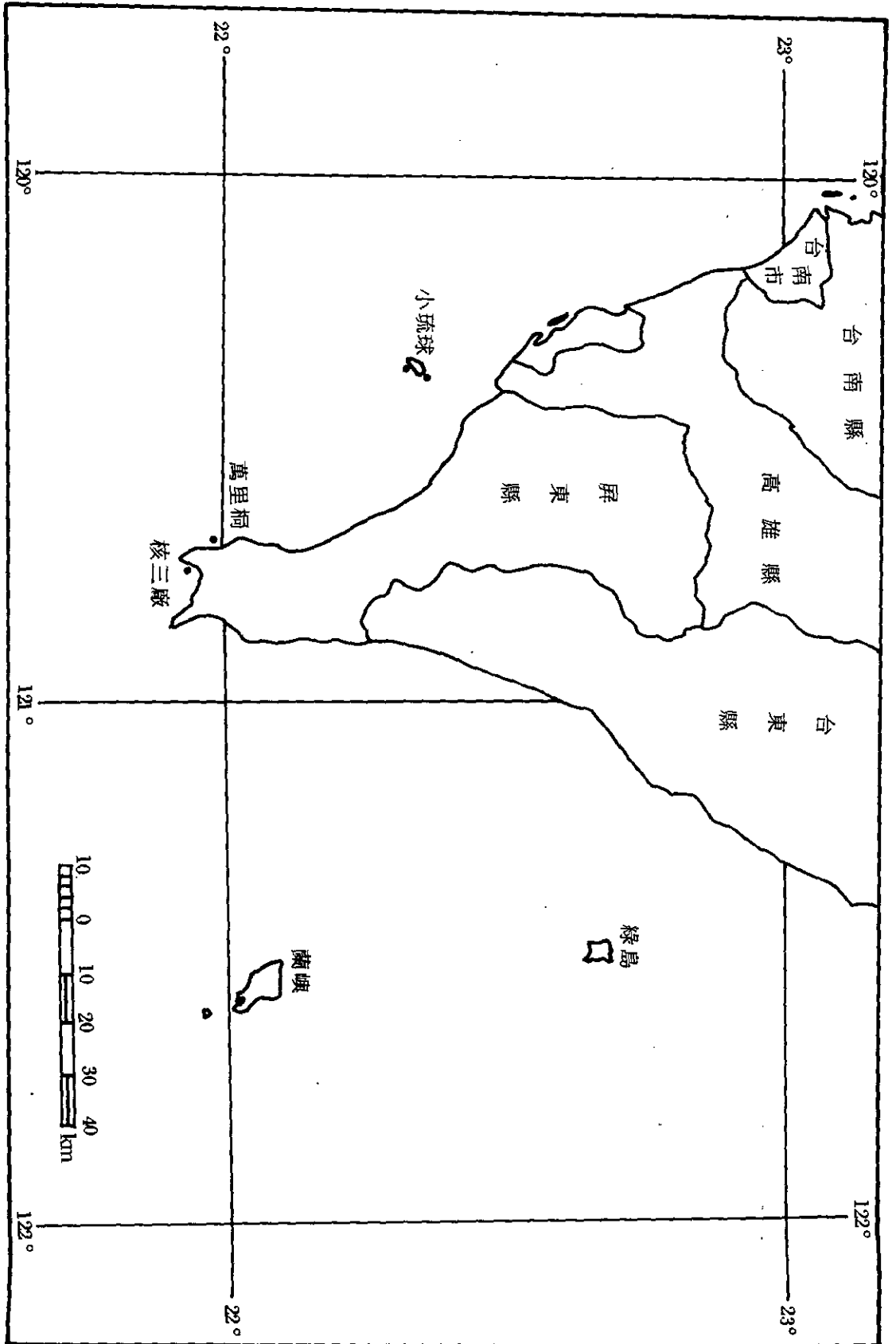
照片四 *Porites lobata* (25KV \times 100)



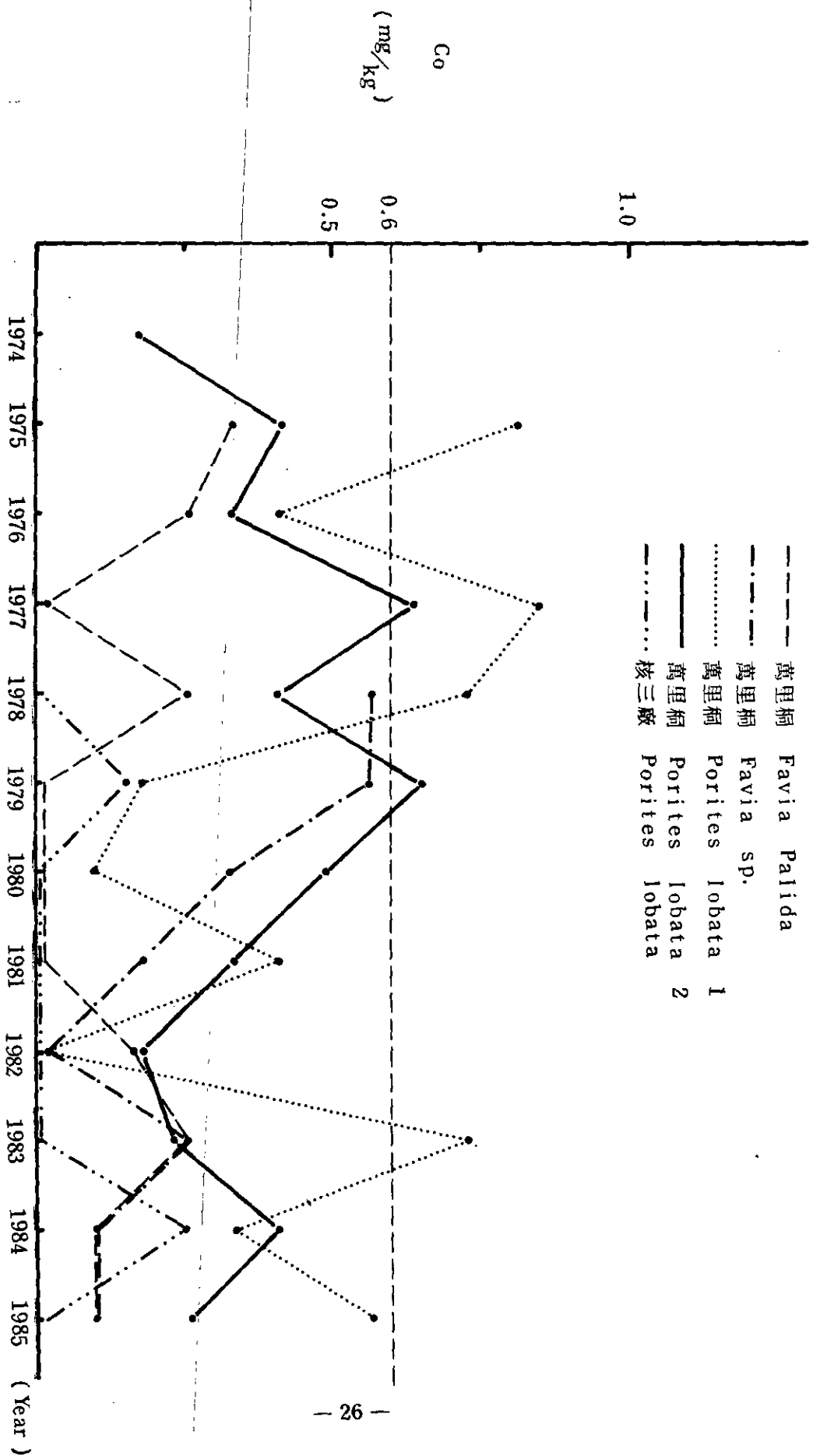
照片五 *Porites lobata* (25 KV × 1000)



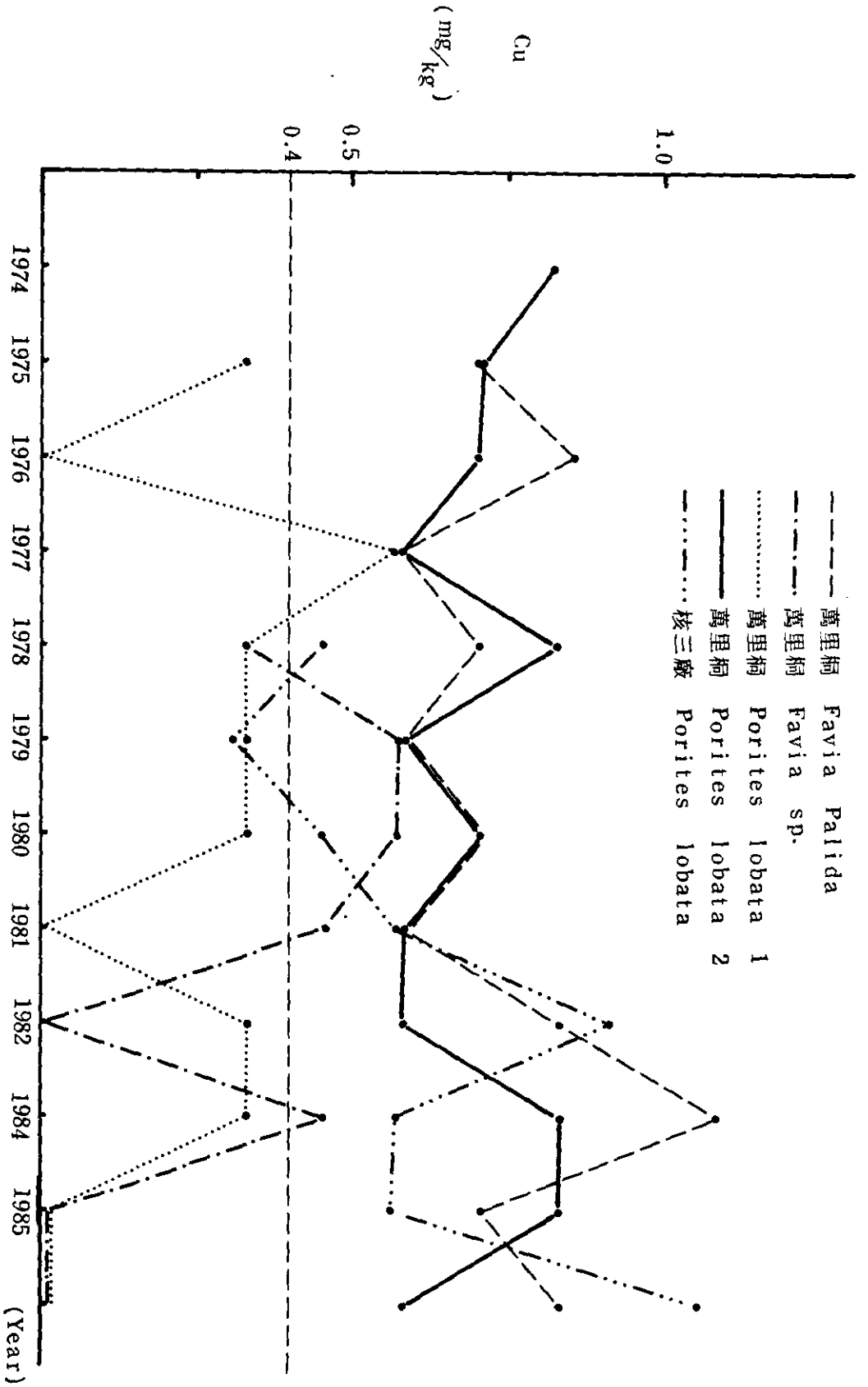
照片六 *Porites lobata* (25 KV × 10000)



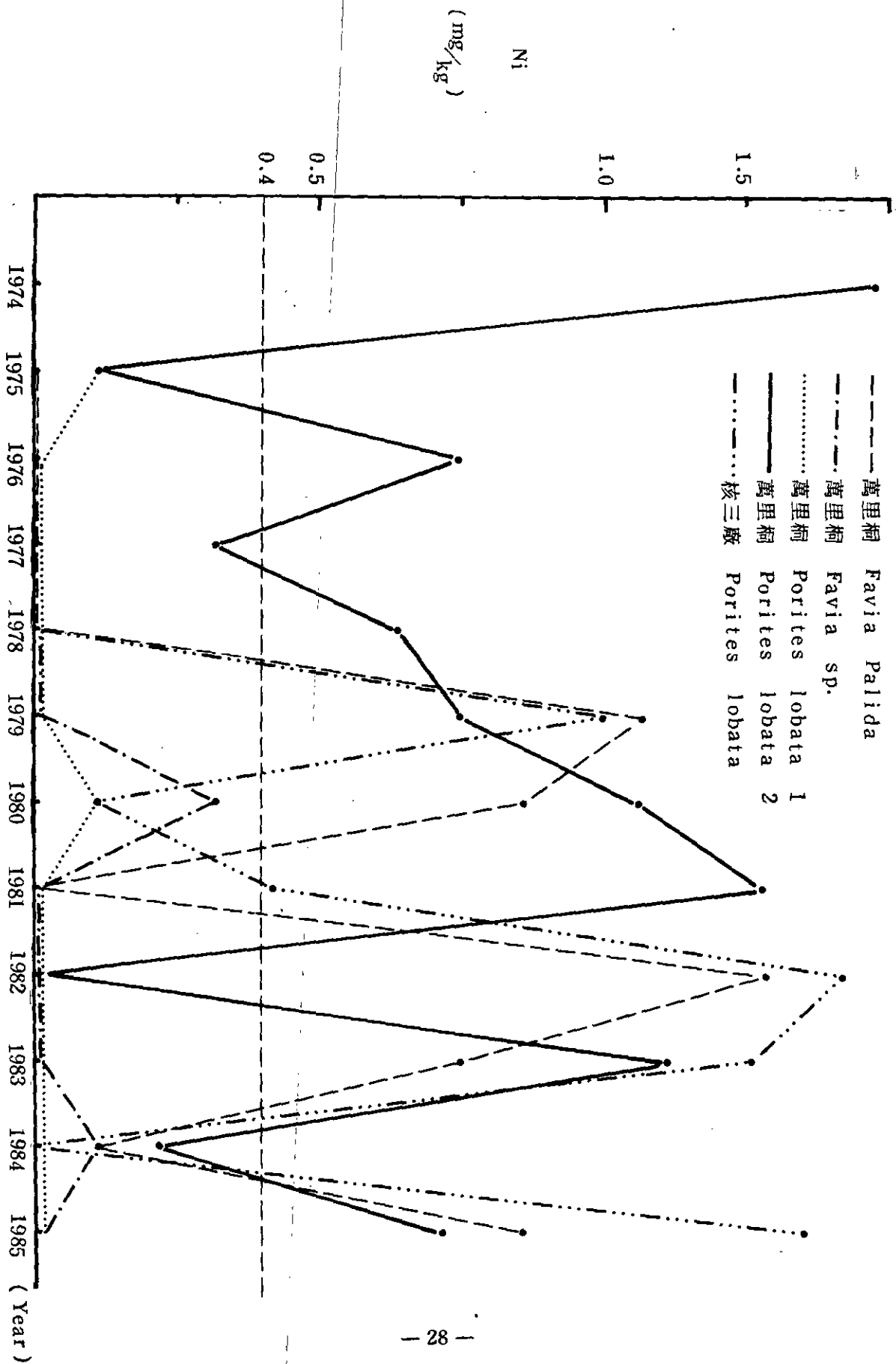
圖一 珊瑚採樣分佈圖



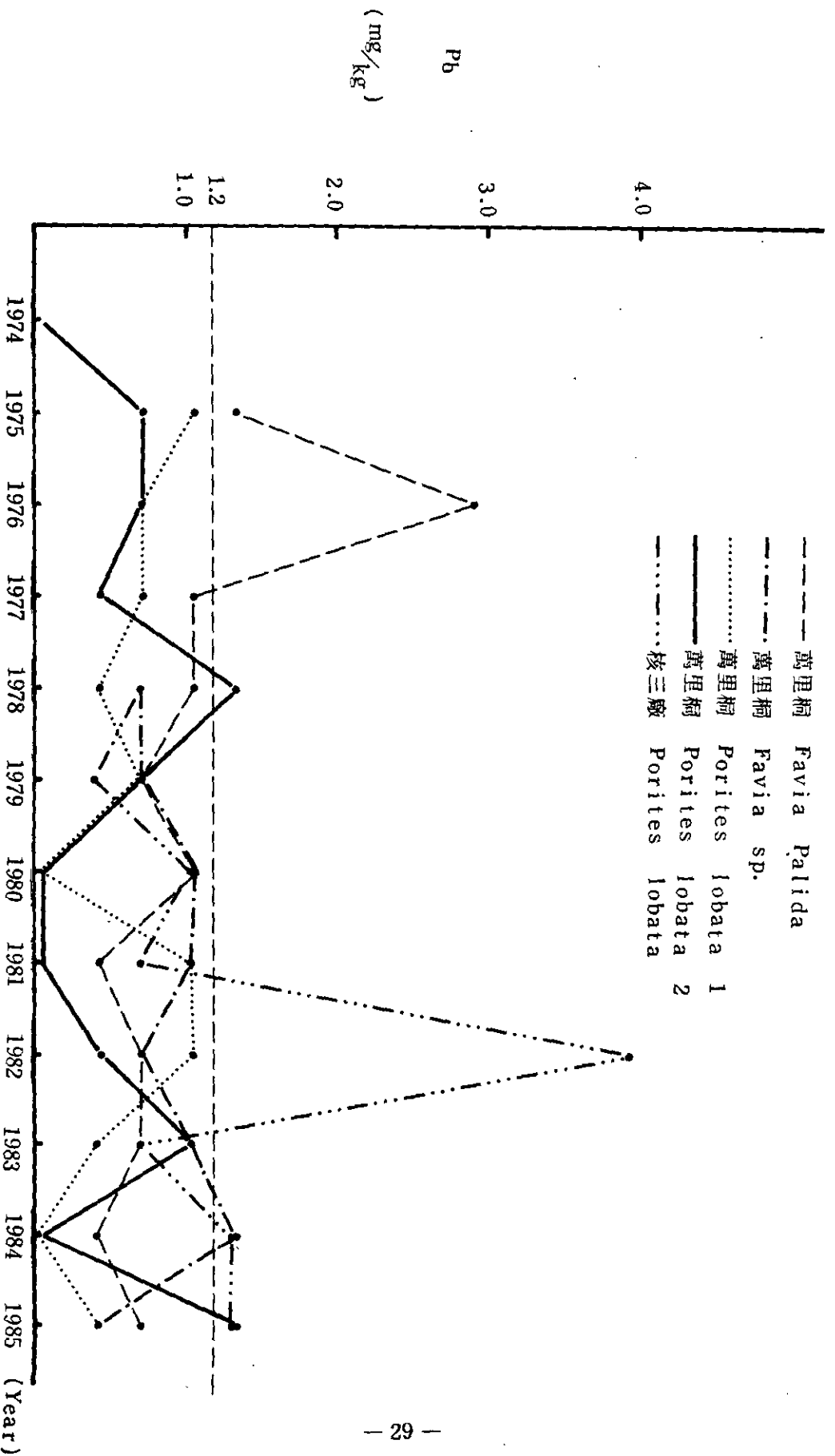
圖二：墾丁海域珊瑚體內銻含量變化



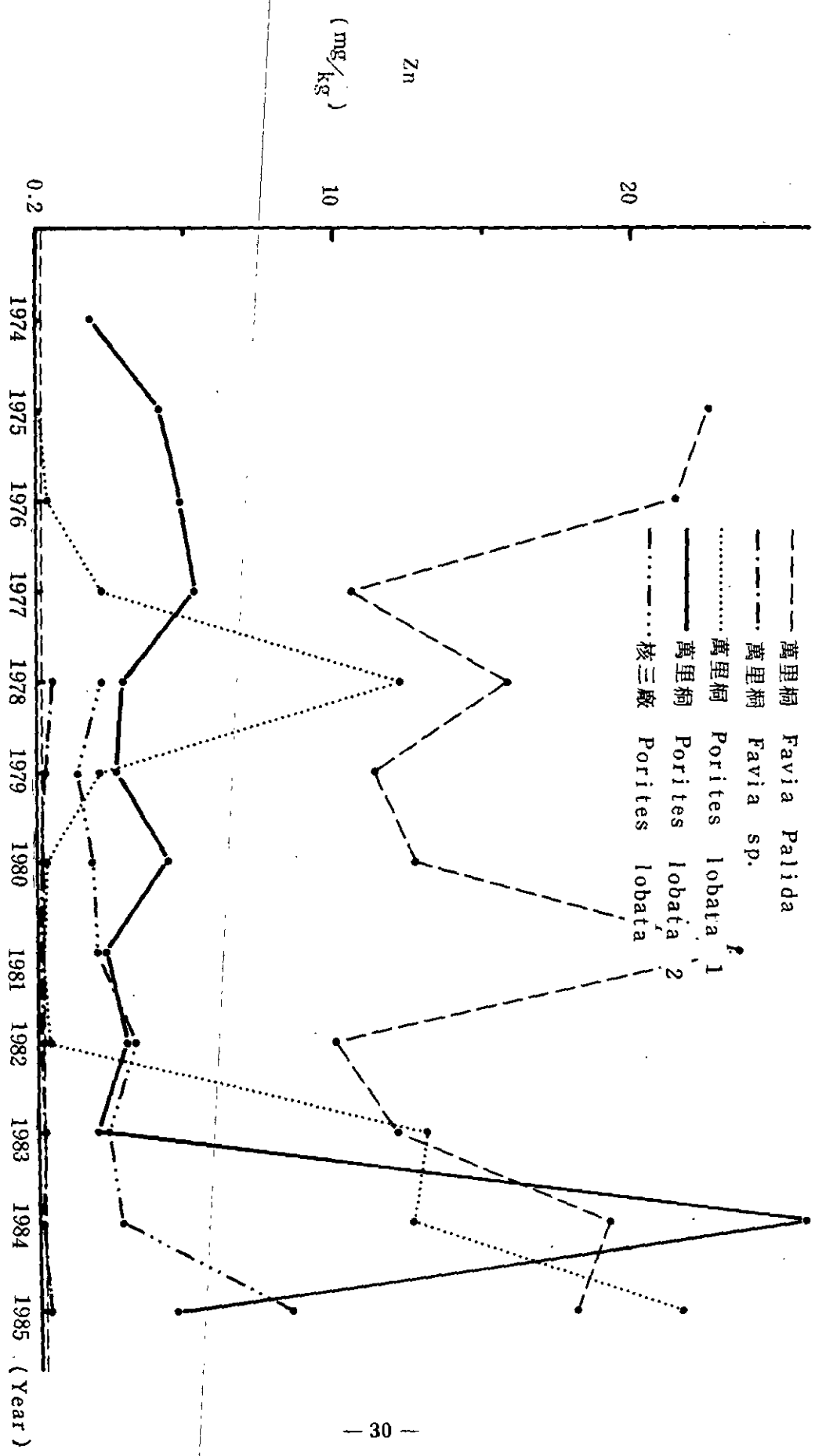
圖三：墾丁海域珊瑚體內銅含量變化



圖四：聖丁海域珊瑚體內鎳含量變化



圖五：聖丁海域珊瑚體年輪內鉛含量變化



圖六：墾丁海域珊瑚體內銻含量變化

Standardless EDS analysis: Accelerating voltage 25 KEV, incidence angle
90 Degrees, effective take-off angle 68.3 degrees.

element and line	Weight percent	Atomic percent
Na KA	2.72	4.83
Mg KA	1.57	2.63
S KA	3.08	3.93
Cl KA	3.32	3.83
Ca KA	78.06	79.54
SR LA	11.24	5.24
Total	100	

表一 Porites lobata 萬里桐

element and line	Weight percent	Atomic percent
Na KA	3.86	6.73
Mg KA	3.23	5.32
Al KA	2.76	4.10
S KA	2.87	3.59
Cl KA	3.37	3.81
Ca KA	70.13	70.14
Sr LA	13.79	6.31
Total	100	

表二 Porites lobata 萬里桐

分析日期：75年5月1日

年 代	鈾 - 137 (pCi/Kg)	總 - 90 (pCi/Kg)	加馬能譜分析 (pCi/Kg)					
			鉀 - 40	鈾 - 214	鈾 - 137	鐳 - 226	鈷 - 60	錳 - 54
1985 - 1986	5.26±5.64	5.52±3.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1984	0.91±2.86	10.79±5.44	ND	251±69	ND	ND	ND	ND
1983	0.45±3.54	14.67±3.86	379±20	ND	ND	ND	ND	ND
1982	0.78±3.07	25.25±10.17	369±15	282±95	ND	ND	ND	ND
1981	1.85±4.20	17.82±17.96	347±18	ND	ND	ND	ND	ND
1980	8.09±4.77	55.85±20.27	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1979	0.81±4.24	20.98±10.29	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1078	0.56±4.42	44.68±20.24	1036±58	ND	ND	ND	ND	ND

表六 核三出水口 Porites lobata 年輪內放射性分析

分析日期：75.年4.月28日

地點	類別	加馬能譜分析 (pCi / Kg)						
		鉀 - 40	鈾 - 214	鈾 - 208	鈾 - 137	鐳 - 226	鈾 - 60	錳 - 54
核三廠	海砂 A	454±89	59±9	60±10	ND	ND	ND	ND
核三廠	海砂 B	444±91	55±8	59±10	ND	ND	ND	ND
萬里桐	海砂	1001±168	68±10	72±12	ND	ND	ND	ND
小琉球烏鬼洞	海砂	195±57	33±6	42±8	ND	ND	ND	ND
小琉球碼頭	海砂	295±71	29±6	63±11	ND	ND	ND	ND

表七 海底沈積物放射性含量統計表